昆 虫 学 报 Acta Entomologica Sinica，February 2006，49(1)：86 – 92 ISSN 0454-6296

褐飞虱胁迫下两种水稻不同生育期玉米素核苷含量动态

刘井兰，仇正华，吴进才*，王 鹏，于建飞，王 芳

（扬州大学农学院植物保护系，江苏扬州 225009）

摘要：应用酶联免疫吸附法(enzyme-linked immunosorbent assay，ELISA)研究了在褐飞虱胁迫下镇稻 2 号(粳稻)和协优 63(籼稻)抽穗期和灌浆期水稻叶片和根中玉米素核苷(zeatin riboside，ZR)含量变化情况。结果表明，镇稻 2 号抽穗期 ZR 含量变化比灌浆期对褐飞虱侵害更为敏感，密度分别为 15、30、60、120 头/株的褐飞虱侵害水稻抽穗期 3、6、9 天后，叶片和根中 ZR 含量显著下降；灌浆期除各个褐飞虱密度侵害 9 天叶片中 ZR 含量和 120 头/株褐飞虱密度侵害 9 天根部 ZR 含量显著下降外，其他处理根和叶片中 ZR 含量下降不明显。协优 63 抽穗期受褐飞虱侵害后体内 ZR 的变化不同于镇稻 2 号，密度分别为 15、30、60 头/株的褐飞虱侵害 3 天后，叶片中 ZR 含量明显升高；在灌浆期，除 30、60、120 头/株褐飞虱密度侵害 6 天和 120 头/株褐飞虱密度侵害 9 天叶片中 ZR 含量有显著增加外，其他处理变化不明显。表明不同品种水稻在不同密度褐飞虱侵害下对根和叶片中 ZR 含量有不同的影响。

关键词：褐飞虱；水稻；品种；根系；叶片；玉米素核苷；含量；酶联免疫吸附法

中图分类号：Q966 文献标识码：A 文章编号：0454-6296(2006)01-0086-07

Dynamics of zeatin riboside content in leaves and roots of two rice varieties at two developmental stages under the infestation stress by the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera：Delphacidae)

LIU Jing-Lan, QIU Zheng-Hua, WU Jin-Cai*, WANG Peng, YU Jian-Fei, WANG Fang (Department of Plant Protection, Agricultural College, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract：The response of zeatin ribosides (ZRs) in roots and leaves at different developmental stages of two representative rice varieties to *N*. *lugens* nymph infestation was studied using enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). The results indicated that ZR content at the heading stage of Zhendao 2 was more sensitive to *N*. *lugens* infestation compared with that at the grain filling stage, with significant reduction of ZR contents in roots and leaves at 3, 6 and 9 days after 15, 30, 60 and 120 nymphs/plant infestations compared with the control. For the grain-filling stage of Zhendao 2, *N*. *lugens* infestation did not result in significant reduction of ZR content in roots and leaves except ZR contents in leaves at 9 days after 15, 30, 60, 120 nymphs/plant infestation and ZR content in roots at 9 days after 120 nymph/plant infestations. However, the response of ZR in Xieyou 63 to *N*. *lugens* stress was different from Zhendao 2：ZR contents in leaves at 3 days after 15, 30 and 60 nymph infestation increased significantly at the heading stage, and there were no significant alterations of ZR content at the grain filling except with significant increase of ZR contents in leaves at 6 days after 30, 60, 120 nymphs/plant infestation and at 9 days after 120 nymphs/plant infestation. The results demonstrated that the effect of *N*. *lugens* infestation on ZR content varied with rice variety and developmental stage.

Key words：*Nilaparvata lugens*；rice；variety；roots；leaves；zeatin riboside；content；ELISA

近年来，在一些选择性农药防治下(如吡虫啉和扑虱灵)褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 暴发频率有所下降，但褐飞虱仍是我国水稻的重要害虫(程遐年等，2003)。褐飞虱暴爆发与水稻的生育期紧密相联，如热带气候条件下的菲律宾水稻田中，褐飞虱迁飞进入后的 27～46、60～70、90～98 天有 3 个若虫高

基金项目：国家‘十五’攻关项目(2004BA516A02)；国家自然科学基金资助项目(30070122)

作者简介：刘井兰，女，1974 年生，博士研究生，讲师，主要从事害虫综合治理及农药环境毒理研究

* 通讯作者 Author for correspondence, Tel.：0514-7979246；E-mail：jc.wu@public.yz.js.cn

收稿日期 Received：2005-06-20；接受日期 Accepted：2005-12-07

峰期(Cook and Perfect，1985)。有研究表明褐飞虱的存活率和生殖率与水稻生育阶段有关(陈若篪等，1986)；我国单季晚稻种植地区，水稻抽穗灌浆时褐飞虱种群数量达最大值，经常导致水稻产生"虱烧"(程遐年等，2003)。褐飞虱在取食水稻过程中引发水稻体内一些生理生化上的改变，如水分、叶绿素和碳水化合物的变化(Sogawa，1971，1982；Sogawa *et al*.，1994；Rubia-Sanchez *et al*.，1999)，但到目前为止，水稻不同生育期受褐飞虱胁迫后体内植物激素含量动态的研究未见报道。Wu 等(2003)报道褐飞虱胁迫显著降低了水稻根系对营养元素的吸收，尤其是 P、K 元素，且随胁迫时间延长，对 P 和 K 的吸收越少，因此提出设想：褐飞虱胁迫作用引起了水稻体内细胞分裂素和玉米素核苷(zeatin robiside，ZR)含量的变化而导致根系对营养元素的吸收代谢产生了干扰。后来研究发现，褐飞虱取食分蘖期镇稻 2 号导致其根系 ZR 含量显著降低，揭示出水稻体内 ZR 含量变化是水稻受褐飞虱胁迫的先导反应，比根系营养吸收代谢更能优先反应(Wu *et al*.，2004)，如褐飞虱低密度(15 头若虫/穴)取食水稻时，对水稻 N、P、K 的吸收影响甚微，但体内 ZR 含量变化较明显(Wu *et al*.，2003，2004)。前期研究只是局限于一种水稻的单个生育期，为更详尽地阐明水稻在褐飞虱胁迫下水稻体内 ZR 含量的动态，需要进一步研究不同品种水稻在不同生育期受褐飞虱取食胁迫时体内 ZR 含量变化情况。

玉米素核苷是属于细胞分裂素一类的植物激素，在植物生长和发育过程中起着重要的调控作用(Siverman *et al*.，1998)；除了调控细胞分裂与细胞延长外，细胞分裂素还影响同化物的流动方向和强度(Doerffling，1977)，定向诱导同化物向库运输。植物细胞分裂素在根尖部位合成(Weiss and Vaadia，1965)，通过茎秆传送至叶片(Yoshida *et al*.，1970)，因此，研究褐飞虱对水稻不同生育期侵害作用后体内的 ZR 含量变化，对理解褐飞虱致害机制及其综合治理有重要理论和实践意义，而且有可能把 ZR 含量水平作为水稻对褐飞虱抗性的一个生化指标。

1 材料和方法

1.1 供试水稻

实验中选用长江中下游稻田种植体系中具有代表性两个水稻品种：镇稻 2 号(粳稻)和协优 63(籼稻)。稻种催芽后播种于水泥池(60 cm × 100 cm × 200 cm)中，秧苗长至 5 叶期，挑选植株大小相当的秧苗，用清水洗去根部泥土，将其插入预备好的泡沫板孔中，每孔移栽一株幼苗，再将泡沫板放入充满 Espino 营养液(Mae and Ohira，1981)(配方：1.4 mmol/L NH_4NO_3，0.4 mmol/L NaH_2PO_4，0.5 mmol/L K_2SO_4，1.5 mmol/L $MgSO_4$，1 mmol/L $CaCl_2$，1.6 mmol/L $MnCl_2$，0.2 mmol/L $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$，3 mmol/L H_3BO_3，6 mmol/L $FeCl_3$，0.03 mmol/L $ZnSO_4$，0.03 mmol/L $CuSO_4$)的水泥池(36 cm × 150 cm × 400 cm)中进行水培，每天调酸，每隔 7 天换一次营养液。分蘖期，轻轻分出一株有效分蘖重新插入泡沫板孔中，进行水培。水稻孕穗期时，将水稻移入装有 Espino 营养液的塑料桶(Φ 13 cm × 13 cm)中进行适应性生长至抽穗、灌浆，待实验处理；同时，仍进行调酸以及每 7 天换一次营养液。

1.2 供试虫源

实验中所用褐飞虱来自于中国水稻研究所(杭州)。接虫试验前，褐飞虱在养虫圃中繁殖两个世代。

1.3 实验设计

1.3.1 接虫安排：为研究褐飞虱取食水稻不同生育期后对水稻体内 ZR 含量影响，在 2 个不同生育期均接上 4 个飞虱(5 龄若虫)密度：15、30、60、120 头/株。接虫后 24 h，检查一次每个处理水稻飞虱数量，以保证虫口数量为所设计的密度。对照不接虫。

1.3.2 接虫时间：分别在破口和灌浆期接虫。

1.3.3 采样：接虫后 3、6、9 天分别取样一次；所有处理取样部位均为水稻倒 1 至倒 3 叶片的前端部分和根部前端。采样量为 0.4500 ~ 0.4505 g，精确到 0.0001 g，样品称重后液 N_2 速冻，放于低温冰箱中保存，等待样品处理。

1.3.4 ZR 含量测定：依据南京农业大学提供的试剂盒说明书对样品进行研磨、提取、冷冻离心、C_{18} 过滤等处理后，进行 ELISA 反应测定，方法参见 Qiu 等(2004)。整个实验过程中水培水稻在自然气候条件下生长，实验采用随机区组设计，3 次重复。每个处理只采样 1 次。

1.4 数据分析

采用 3 因素方差分析(莫惠栋，1996)，分析水稻品种、生育阶段及褐飞虱密度对叶片和根系的 ZR 含量的影响。

2 结果与分析

2.1 褐飞虱侵害对水稻抽穗期体内 ZR 含量的影响

**2.1.1 褐飞虱侵害 3 天水稻体内 ZR 含量的统计分

析：统计分析表明，水稻不同品种（粳稻和籼稻）、不同器官（根与叶片）和不同飞虱密度时水稻体内 ZR 含量均有显著差异（F = 579.89，df = 1，100，P = 0.00011；F = 798.65，df = 1，100，P = 0.000086；F = 31.16，df = 4，100，P = 0.0011）；水稻品种与褐飞虱之间、水稻器官与褐飞虱密度之间以及水稻品种、器官和褐飞虱密度之间均有显著交互作用（F = 47.49，df = 4，100，P = 0.00073；F = 14.19，df = 4，100，P = 0.0024；F = 27.18，df = 4，100，P = 0.0012），但水稻品种和器官之间无显著交互作用（F = 0.29，df = 1，100，P = 1.19）（表 1，2）。

表 1 镇稻 2 号不同生育期受褐飞虱侵害后体内 ZR 的含量变化

Table 1 ZR content (pmol/g) in leaves and roots at two developmental stages of Zhendao 2 under *N. lugens* infestation

生育期 Developmental stage	器官 Rice organ	飞虱密度（头/株） *N. lugens* density (nymphs/plant)	侵害时间（天） Infestation duration (d) 3	6	9
抽穗期 Heading stage	根 Root	15	36.79 ± 3.14 b	45.19 ± 2.02 b	41.36 ± 1.34 b
		30	34.22 ± 2.28 bc	43.04 ± 4.68 b	37.60 ± 8.00 bc
		60	32.23 ± 1.33 c	26.75 ± 8.32 c	34.33 ± 2.51 c
		120	34.16 ± 2.53 bc	26.95 ± 13.29 c	32.29 ± 3.21 c
		对照 Control	43.02 ± 3.74 a	55.38 ± 7.33 a	51.97 ± 6.35 a
	叶 Leaf	15	38.77 ± 3.17 d	48.69 ± 2.21 b	55.67 ± 3.05 c
		30	45.24 ± 2.92 c	48.07 ± 7.50 b	59.52 ± 8.45 c
		60	46.61 ± 2.37 c	52.48 ± 3.05 a	59.12 ± 2.95 c
		120	59.38 ± 6.20 b	52.91 ± 4.33 a	63.97 ± 2.74 b
		对照 Control	64.17 ± 2.30 a	65.90 ± 4.44 a	76.45 ± 2.56 a
灌浆期 Filling stage	根 Root	15	29.28 ± 7.35 ab	30.76 ± 5.64 a	29.23 ± 2.71 a
		30	26.22 ± 9.55 ab	29.14 ± 8.30 ab	28.18 ± 4.35 a
		60	29.34 ± 2.05 ab	27.63 ± 1.44 ab	26.58 ± 6.14 a
		120	23.03 ± 5.98 b	24.36 ± 6.81 b	27.96 ± 6.95 a
		对照 Control	33.12 ± 5.01 a	26.06 ± 1.06 ab	29.23 ± 2.65 a
	叶 Leaf	15	37.02 ± 1.75 bc	34.18 ± 4.73 c	44.21 ± 3.79 b
		30	44.52 ± 3.99 a	47.91 ± 3.71 a	44.55 ± 2.78 b
		60	33.91 ± 6.94 c	41.15 ± 3.60 abc	44.60 ± 1.23 b
		120	41.17 ± 2.76 ab	39.88 ± 8.66 bc	43.12 ± 3.20 b
		对照 Control	40.14 ± 4.41 ab	41.92 ± 9.92 ab	49.54 ± 4.95 a

表中数据是平均值 ± 标准差，同栏相同发育期相同器官数据后不同小写字母表示与相应对照比差异显著（P < 0.05，LSD test）。下同。Data are means ± *SD*, and those of the same organ at the same developmental stage within the same column followed by different letters show significant difference (P < 0.05, LSD test). The same below.

2.1.2 褐飞虱侵害 6 天水稻体内 ZR 含量的统计分析：统计分析表明，水稻不同品种、不同器官和不同飞虱密度时水稻体内 ZR 含量均有显著影响（F = 84.24，df = 1，100，P = 0.00081；F = 217.55，df = 1，100，P = 0.00031；F = 15.89，df = 4，100，P = 0.0043）；水稻品种与褐飞虱密度之间、水稻器官与褐飞虱密度之间以及水稻品种、器官和褐飞虱密度之间均有显著交互作用（F = 8.68，df = 4，100，P = 0.0079；F = 5.30，df = 4，100，P = 0.0037；F = 4.83，df = 4，100，P = 0.040），但水稻品种和器官之间无显著交互作用（F = 3.74，df = 1，100，P = 0.052）（表 1，2）。

2.1.3 褐飞虱侵害 9 天水稻体内 ZR 含量的统计分析：统计分析表明：水稻不同品种、不同器官和不同飞虱密度时水稻体内 ZR 含量均有显著影响（F = 638.86，df = 1，100，P = 0.00010；F = 778.46，df = 1，100，P = 0.00017，F = 29.33；df = 4，100，P = 0.0023）；水稻品种和器官之间、水稻品种与褐飞虱密度之间、水稻器官与褐飞虱密度之间以及水稻品种、器官和褐飞虱密度之间均有显著交互作用（F = 52.67，df = 1，100，P = 0.00018；F = 19.97，df = 4，100，P = 0.0034；F = 10.99，df = 4，100，P = 0.0063；F = 3.43，df = 4，100，P = 0.035）（表 1，2）。

2.1.4 褐飞虱侵害后水稻抽穗期体内 ZR 含量变化分析：多重比较后发现，两个水稻品种之间，镇稻 2 号体内 ZR 含量比协优 63 高得多；不同器官之间，叶片的 ZR 含量也明显高于根部。不同褐飞虱密度侵害水稻后 ZR 含量变化取决于水稻品种和器官，如接虫 3 天镇稻 2 号根部和叶片的 ZR 含量均显著低于对照根和叶片中的 ZR 含量，每株水稻上 15、30、60、120 头飞虱侵害导致叶片中 ZR 含量分别降低了 39.58%、29.49%、27.36% 和 7.46%，而且根部 ZR

含量也一直低于叶片；协优 63 除 60 头/株侵害外，根部和叶片中 ZR 含量的变化趋势与镇稻 2 号的根部变化一致，随飞虱密度的增加而逐渐下降（表 3）。此外，两个水稻品种体内 ZR 含量在飞虱侵害 6、9 天后变化情况与 3 天情况相类似（表 3）。

2.2 褐飞虱侵害对水稻灌浆期体内 ZR 含量的影响

2.2.1 褐飞虱侵害 3 天水稻体内 ZR 含量的统计分析

褐飞虱侵害 3 天，统计分析表明水稻不同品种和不同器官时水稻体内 ZR 含量有显著差异（$F = 310.20$，$df = 1,100$，$P = 0.00022$；$F = 59.50$，$df = 1,100$，$P = 0.0011$），不同褐飞虱密度对 ZR 含量无显著差异（$F = 1.89$，$df = 4,100$，$P = 0.065$）；此外，水稻品种与器官组织之间、水稻品种与飞虱密度之间、水稻器官与飞虱密度之间以及水稻品种、器官、褐飞虱密度之间均无显著交互作用（$F = 0.87$，$df = 4,100$，$P = 0.14$；$F = 0.49$，$df = 4,100$，$P = 0.25$；$F = 1.86$，$df = 4,100$，$P = 0.066$；$F = 0.29$，$df = 4,100$，$P = 0.084$）（表 1，2）。多重比较表明镇稻 2 号接飞虱 3 天后，60 头/株侵害后叶片和 120 头/株侵害后根部的 ZR 含量降至相应部位 ZR 含量的最低点，分别下降 15.52%和 30.46%（表 3）。

2.2.2 褐飞虱侵害 6 天水稻体内 ZR 含量的统计分析

褐飞虱侵害 6 天，统计分析表明水稻不同品种、不同器官和不同褐飞虱密度时水稻体内 ZR 含量有显著差异（$F = 371.90$，$df = 1,100$，$P = 0.00018$；$F = 136.90$，$df = 1,100$，$P = 0.00050$；$F = 8.11$，$df = 4,100$，$P = 0.0043$）；与褐飞虱侵害 3 天不同的是：水稻品种与褐飞虱密度、器官与褐飞虱密度以及水稻品种、器官和褐飞虱密度之间均具有显著交互作用（$F = 3.18$，$df = 4,100$，$P = 0.038$；$F = 7.28$，$df = 4,100$，$P = 0.048$；$F = 8.35$，$df = 4,100$，$P = 0.0042$）；水稻品种与器官之间无明显交互作用（$F = 0.23$，$df = 1,100$，$P = 0.86$）（表 1，2）。

2.2.3 褐飞虱侵害 9 天水稻体内 ZR 含量的统计分析

褐飞虱侵害 9 天，统计分析表明水稻不同品种和不同器官时水稻体内 ZR 含量有显著差异（$F = 351.90$，$df = 1,100$，$P = 0.00019$；$F = 339.40$，$df = 1,100$，$P = 0.0002$）；水稻品种与褐飞虱密度之间、器官组织与褐飞虱密度之间以及水稻品种、器官组织、褐飞虱密度之间均具有显著交互作用（$F = 3.29$，$df = 4,100$，$P = 0.036$；$F = 9.61$，$df = 4,100$，$P = 0.0036$；$F = 10.29$，$df = 4,100$，$P = 0.0034$）；不同褐飞虱密度对水稻体内 ZR 含量无显著影响（$F = 1.37$，$df = 4,100$，$P = 0.084$）；水稻品种与器官组织之间无明显交互作用（$F = 0.36$，$df = 1,100$，$P = 0.54$）（表 1，2）。多重比较表明：与对照相比，镇稻 2 号叶片中 ZR 含量显著下降，根部 ZR 含量变化不明显；协优 63 叶片和根的 ZR 含量与 6 天相比无明显变化（表 3）。

表 2　协优 63 不同生育期受褐飞虱侵害后体内的 ZR 含量

Table 2　ZR content (pmol/g) in leaves and roots at two developmental stages of Xieyou 63 under *N. lugens* infestation

生育期 Developmental stage	器官 Rice organ	飞虱密度(头/株) *N. lugens* density (nymphs/plant)	侵害时间(天) Infestation duration (d) 3	6	9
抽穗期 Heading stage	根 Root	15	23.52 ± 2.45 b	28.70 ± 2.93 a	41.30 ± 2.44 a
		30	20.56 ± 1.15 c	25.65 ± 3.68 bc	28.06 ± 6.62 b
		60	29.23 ± 1.62 a	24.77 ± 3.58 c	23.26 ± 2.61 c
		120	18.44 ± 0.72 d	27.21 ± 3.86 abc	24.14 ± 0.66 c
		对照 Control	28.37 ± 2.58 a	29.55 ± 1.58 a	31.82 ± 2.83 a
	叶 Leaf	15	40.97 ± 2.79 a	45.93 ± 5.44 a	41.07 ± 6.08 a
		30	38.99 ± 3.43 ab	45.29 ± 0.98 a	40.91 ± 2.16 a
		60	39.99 ± 3.98 a	45.51 ± 2.81 a	42.78 ± 1.92 a
		120	35.99 ± 2.21 bc	43.98 ± 2.45 a	42.34 ± 3.18 a
		对照 Control	35.18 ± 1.81 c	47.30 ± 6.00 a	39.22 ± 3.08 a
灌浆期 Filling stage	根 Root	15	52.99 ± 8.62 a	51.46 ± 6.29 a	52.31 ± 3.18 a
		30	50.28 ± 5.81 a	50.78 ± 6.29 a	46.62 ± 4.31 ab
		60	50.15 ± 2.87 a	52.44 ± 4.61 a	42.07 ± 7.76 b
		120	47.72 ± 9.62 a	45.11 ± 4.88 a	40.23 ± 5.74 b
		对照 Control	53.19 ± 5.34 a	47.04 ± 8.27 a	46.27 ± 9.80 ab
	叶 Leaf	15	57.62 ± 4.07 a	53.95 ± 9.97 c	53.43 ± 4.42 c
		30	57.67 ± 7.64 a	71.01 ± 7.55 a	64.43 ± 10.39 b
		60	58.49 ± 13.98 a	68.71 ± 4.00 ab	63.10 ± 3.00 b
		120	55.05 ± 6.10 a	64.39 ± 3.41 b	78.02 ± 7.49 a
		对照 Control	59.48 ± 5.29 a	50.55 ± 7.37 c	59.23 ± 6.43 bc

2.2.4 褐飞虱侵害后灌浆期水稻体内 ZR 含量变化分析：多重比较表明，两个水稻品种之间，灌浆期协优 63 体内 ZR 含量明显高于镇稻 2 号，与抽穗期的情形刚好相反；两个器官之间，水稻灌浆期体内 ZR 含量变化与抽穗期保持一致，即叶片中 ZR 含量明显高于根部。不同褐飞虱密度侵害后导致 ZR 含量变化主要取决于水稻品种、器官和飞虱密度，如褐飞虱侵害水稻 6 天，镇稻 2 号除 15 头/株侵害导致叶片中 ZR 含量下降 18.46% 外，其他无明显影响；协优 63 受每株 30、60、120 头飞虱若虫侵害后，与对照相比叶片内 ZR 含量几乎成线性下降，但根中 ZR 含量变化不明显(表 1，2)。

2.3 褐飞虱侵害后不同生育期体内 ZR 含量变化的比较

水稻在不同生育期受褐飞虱侵害后体内 ZR 含量变化的百分比反映出：镇稻 2 号在抽穗期受褐飞虱侵害后体内 ZR 含量比灌浆期变化幅度更大，抽穗期水稻根和叶片中 ZR 含量均有明显下降(表 3)；协优 63 抽穗期和灌浆期受褐飞虱侵害后其根部的 ZR 含量变化与镇稻 2 号抽穗期根部 ZR 含量变化相似，叶片中 ZR 含量变化则呈现相反趋势(表 3)；与镇稻 2 号相比，协优 63 灌浆期体内 ZR 含量在一定程度上有所增加；抽穗期受褐飞虱侵害 3 天和灌浆期受褐飞虱侵害 6 天体内 ZR 含量变化较为明显(表 1，2)。这些差别表明两种水稻(粳稻和籼稻)受褐飞虱侵害后体内 ZR 含量变化的规律不同。

表 3 两种水稻在不同生育期受褐飞虱侵害后体内 ZR 含量变化百分比

Table 3 Percentages (%) of increase (+) or decrease (−) of ZR contents following *N. lugens* infestation at different developmental stages of two rice varieties

水稻品种 Rice varieties	器官 Rice organ	飞虱密度(头/株) *N. lugens* density (nymphs/plant)	ZR 含量变化百分比 Percentages of increase or decrease of ZR (%) 抽穗期侵害时间(天) Infestation duration (d) at rice heading stage: 3	6	9	灌浆期侵害时间(天) Infestation duration (d) at rice filling stage: 3	6	9
镇稻 2 号 Zhen dao 2	根 Root	15	−14.48*	−18.40*	−20.41*	−11.59	+18.03	0.00
		30	−20.45*	−22.28*	−27.59*	−20.83	+11.81	−3.59
		60	−25.08*	−51.69*	−33.94*	−11.41	+6.02	−9.06
		120	−20.59*	−51.33*	−37.86*	−30.46*	−6.52	−4.34
	叶 Leaf	15	−39.58*	−26.11*	−27.18*	−7.77	−18.46*	−10.75*
		30	−29.49*	−27.06*	−22.14*	+10.91	+14.28	−10.07*
		60	−27.36*	−20.36	−22.66*	−15.52*	−1.83	−9.99*
		120	−7.46*	−19.71	−16.32*	+2.56	−4.86	−12.95*
协优 63 Xie you 63	根 Root	15	−17.09*	−2.87	−4.96	−0.37	+9.39	+13.03
		30	−27.52*	−13.19*	−11.81*	−5.47	+7.95	+0.75
		60	+3.03	−16.17*	−26.90*	−5.71	+11.47	−9.07
		120	−35.00*	−7.91	−24.13*	−10.28	−4.10	−13.05
	叶 Leaf	15	+16.45*	−2.89	+4.71	−3.12	+6.72	−9.79
		30	+10.83*	−4.24	+4.30	−3.04	+40.47*	+8.77
		60	+13.67*	−3.78	+9.07	−1.66	+35.92*	+6.53
		120	+2.30	−7.01	+7.95	−7.44	+27.37*	+31.72*

"*"表示在同一品种、同一器官和相同侵害时间后与对照相比差异显著；百分率数据和显著性检验结果来自表 1、表 2，百分率计算的分母相同，所以可直接用表 1、表 2 的差异显著性。"*" shows that there are significant differences between the data of the same organ at the same developmental stage within the same column and the control. Perecntages in table 3 were calculated based on the data in table 1 and table 2. The significance was directly adopted from table 1 and table 2 because the denominator of percentage calculation is same for the same variety and organ.

3 讨论

我国水稻种植区，水稻分蘖拔节期利于褐飞虱种群发展，极易在抽穗灌浆期间发生"虱烧"(程遐年等，2003)。本实验揭示无论是镇稻 2 号还是协优 63 受褐飞虱侵害后，水稻抽穗期体内 ZR 含量变化比灌浆期对褐飞虱侵害更为敏感；受褐飞虱取食后水稻根部的 ZR 含量呈现出显著下降趋势，揭示出根部比叶片对褐飞虱侵害更为敏感；就水稻品种而言，镇稻 2 号比协优 63 对褐飞虱侵害更为敏感。

根系是高等植物的重要器官，一些植物激素如玉米素在根尖部分合成(Weiss and Vaadia，1965)，由茎秆传导到叶片(Yoshida *et al*.，1970)。合成植物激素所需的能量来源于植物叶片的光合作用，而且褐飞虱也不断刺吸由叶片光合作用产生的同化物，如 1 头 5 龄若虫每天可以刺吸 14.63 mg 水稻体液(都健和丁锦华，1991)。褐飞虱繁殖高峰时，水稻体

内 28%的干物质被褐飞虱刺吸；水稻拔节期受褐飞虱取食后显著降低了光合速率，尤其是水稻下部叶片的光合效率与对照相比下降了 30%（Sogawa，1994；Watanabe and Kitagawa，2000）。这些研究显示"虱烧"显著影响水稻生理生化指标或是改变水稻体内光合产物分配。而植物生化过程由植物激素所调控，如从玉米根部产生的玉米素提高了功能叶的标记同化物的输出，同时也增加了光合产物向生殖器官的分配率（董学会等，2001）。因此褐飞虱侵害导致水稻根部 ZR 含量下降也许加剧了"虱烧"发生。此外，褐飞虱取食也阻碍了根系对营养元素的吸收，如 N、P、K 等矿质元素，尤其对 P 和 K 元素影响更为明显（Wu *et al*.，2003）。前人研究表明褐飞虱取食后易导致水稻根系组织功能紊乱。因此，水稻根系功能下降也可能是导致"虱烧"发生的一个重要原因。此前已有很多关于褐飞虱取食导致水稻生理生化指标发生改变的研究（Sogawa，1971，1982；Rubia-Sanchez *et al*.，1999；Watanabe and Kitagawa，2000），但通过对水稻根系功能变化的检测来研究包括"虱烧"在内对水稻生理上的伤害是一个崭新的研究思路。

褐飞虱取食导致水稻不同品种之间、不同生育期之间对褐飞虱侵害的敏感性差异可能与茎秆中干物质的分配有关；有研究表明水稻茎秆内干物质的分配指数在抽穗前随着生理发育时间的增加而提高，在正常模式下在灌浆初期达到最高峰（孟亚利等，2004），可见，抽穗期是一个敏感发育期。如前文所述，干物质的分配也由植物激素（如 ZR）所调控。因此，有必要依据不同生育阶段的水稻来制定不同褐飞虱防治策略。

褐飞虱取食导致不同水稻品种间 ZR 含量水平差异与它们自身的生理生化特性有关。籼稻协优 63 有较强的分蘖活性而对褐飞虱有较强抗（耐）虫性。水稻对褐飞虱的抗性和补偿能力主要取决于水稻的品种（Rubia-Sanchez *et al*.，1999；陈建明等，2003）。前人研究仅仅是检测了褐飞虱胁迫下稻苗的生长、叶面积、植株干重及光合速率的变化等。实际上，这些变化也由植物激素所调控。因此，ZR 也许可以看作水稻对褐飞虱抗性或补偿能力的一个生化指标。

参 考 文 献（References）

Chen JM，Yu XP，Cheng JA，Lu ZX，Zheng XS，Xu HX，2003. Evaluation for tolerance and compensation of rice varieties to infesting of brown planthopper，*Nilaparvata lugens*. *Chinese J. Rice Sci*.，17(3)：265–269.［陈建明，俞晓平，程家安，吕仲贤，郑许松，徐红星，2003. 不同水稻品种对褐飞虱为害的耐性和补偿作用评价. 中国水稻科学，17(3)：265–269］

Chen RC，Qi LZ，Cheng XN，1986. Study on brown planthopper，*Nilaparvata lugens*，population dynamics Ⅰ. Effect of temperatures and food on population growth. *Journal of Nanjing Agricultural University*，(3)：23–33.［陈若篪，綦立正，程遐年，1986. 褐飞虱种群动态的研究Ⅰ. 温度、食料条件对种群增长的影响. 南京农业大学学报.(3)：23–33］

Cheng XN，Wu JC，Ma F，2003. Brown Planthopper：Occurrence and Control. Bejing：China Agriculture Press.［程遐年，吴进才，马飞，2003. 褐飞虱研究与防治. 北京：中国农业出版社.］

Cook AG，Perfect TJ，1985. Seasonal abundance of macropterous *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* based on presumptive macroptery in fifth-instar nymphs. *Ecological Entomology*，10：249–258.

Doerffling K，1977. Storage processes：the role of hormones. *Z. Pflanzenernaehr Bodenkd*.，140：3–14.

Dong XH，He ZP，Guan CH，2001. Effects of IAA and zeatin introduced through secondary-root on translocation and portioning of photosynthate in maize. *Journal of China Agricultural University*，6(3)：21–25.［董学会，何钟佩，关彩虹，2001. 根系导入生长素和玉米素对玉米光合产物输出及分配的影响. 中国农业大学学报，6(3)：21–25］

Du J，Ding JH，1991. Estimation of total amount of sap ingested by *Nilaparvata lugens* Stål under experimental condition. *Acta Entomologica Sinica*，34(1)：122–125.［都健，丁锦华，1991. 褐飞虱吸食量的估计. 昆虫学报，34(1)：122–125］

Mae T，Ohira K，1981. The remobilization of nitrogen related to leaf growth and senescence in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Plant Cell Physiology*，22：1 067–1 074.

Meng YL，Cao WX，Liu XW，Zhou ZG，Jing Q，2004. A preliminary study of simulation on shoot dry matter partitioning in rice. *Acta Agronomica Sinica*，30(4)：376–381.［孟亚利，曹卫星，柳新伟，周治国，荆奇，2004. 水稻地上部干物质分配动态模拟的初步研究. 作物学报，30(4)：376–381］

Mo HD，1992. Agricultural Experimental Statistics (2nd edition). Shanghai：Shanghai Scientific & Technical Press.［莫惠栋，1996. 农业试验统计(第二版). 上海：上海科技出版社］

Qiu ZH，Wu JC，Dong B，Li DH，Gu HN，2004. Two-way effect of pesticides on zeatin riboside content in both rice leaves and roots. *Crop Protection*，23(11)：1 131–1 136.

Rubia-Sanchez，Suzuki EY，Miyamoto K，Watanabe T，1999. The potential for compensation of the effects of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera：Delphacidae) feeding on rice. *Crop Protection*，18：39–45.

Silverman FP，Assiamah AA，Bush DS，1998. Membrane transport and cytokinin action in root hairs of *Medicago sativa*. *Planta*，205：23–31.

Sogawa K，1971. Effects of feeding of the brown planthopper on the components in the leaf blade of the rice plants. *Jpn. J. Appl*.

Entomol. *Zool*.，15：175 - 179.

Sogawa K，1982. The rice brown planthopper：feeding physiology and host plant interactions. *Annu*. *Rev*. *Entomol*.，27：49 - 73.

Sogawa K，Uhm KB，Choi KM，1994. Overseas immigration of rice planthoppers into Korea associated meteorological conditions. *Proc*. *Assoc*. *Plant Prot*. *Kyuchu*，40：80 - 89.

Sogawa K，1994. Feeding behaviour and damage mechanisms of the rice planthoppers. In：Elings A，Rubia EC eds. Analysis of Damage Mechanisms by Pests and Diseases and Their Effects on Rice Yield. SARP Res. Proceedings. Waganingen. 143 - 154.

Watanabe T，Kitagawa H，2000. Photosynthesis and translocation of assimilates in rice plants following phloem feeding by the planthopper *Nilaparvata lugens* (Homoptera：Delphacidae). *Journal of Economic Entomology*，93(4)：1 192 - 1 198.

Weiss C，Vaadia Y，1965. Kinetin-like activity in root apices of sunflower plants. *Life Science*，4(13)：1 323 - 1 326.

Wu JC，Qiu HM，Yang GQ，Dong B，Gu HN，2003. Nutrient uptake of rice roots in response to infestation of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera：Delphacidae). *J*. *Economic Entomol*.，96(6)：1 798 - 1 804.

Wu JC，Qiu ZH，Ying JL，Dong B，Gu HN，2004. Changes of zeatin riboside content in rice plants due to infestation by *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera：Delphacidae). *J*. *Economic Entomol*.，97(6)：1 917 - 1 922.

Yoshida R，Oritani T，Nishi A，1970. Studies on nitrogen metabolism in crop plants VIII. Occurrence of kinetin-like factor in root exudates of rice plants. *Proceedings of the Crop Science Society of Japan*，39：363 - 369.

(责任编辑：袁德成)